

数値地図による沿岸地域モデリングと SPH 法による流体解析

九州大学 学生会員 ○上坂 隆志
九州大学 正会員 浅井 光輝
九州大学 正会員 園田 佳巨

1. 緒言

日本は国土が狭く島国であることから沿岸地域の開発を積極的に行っている。構造設計の観点からの安全かつ安心な沿岸構造物を創造するためには、津波・高潮・暴波浪などに対する水害対策を念頭に置いた、構造問題と流体問題を同時に解く新規の流体-構造連成シミュレータの開発が求められている。その基礎的段階として本研究では、流体の複雑に形状を変化する過程を解析可能なツールとして、メッシュフリー解析法の一つである粒子型解法：SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法に着目した。そして、SPH 法のオープンソースソフトウェア SPHysics を使用して、数値地図から沿岸地域の解析モデルを作成し、解析するまでの一連の手順を構築した。

2. SPH 法による疑似非圧縮性流体解析

(1) SPH 法の基礎

本研究の数値解析で用いた SPH 法の解析アルゴリズムを概説する。図-1 のように、SPH 法は格子を必要としない離散化解析手法の一種であり、粒子上 (計算点) に解くべき物理量を与える。このとき、物理量は影響範囲内に空間分布していることを想定して、その分布形状を重み関数 W により与える。すなわち、粒子 i 付近の粒子群 j における粒子質量、密度をそれぞれ m_j , ρ_j とすると、物理量 $f(x_i)$ を

$$f(x_i) \approx \sum_{j=1}^N \frac{m_j}{\rho_j} f(x_j) W(x_i - x_j, h) \quad (1)$$

として近似する。同様に、空間微分に関する項も次式を用いて近似表現できる。

$$\nabla \cdot f(x_i) \approx \rho_i \sum_{j=1}^N m_j \left(\frac{f(x_i)}{(\rho_i)^2} + \frac{f(x_j)}{(\rho_j)^2} \right) \cdot \nabla W(x_i - x_j, h) \quad (2)$$

本研究では、流体を非圧縮性粘性流体と想定し解析を実施するため、その Navier-Stokes 方程式を SPH 法で解く。SPH 法の詳細は文献[1][2]に委ねる。

ここで、kernel 関数としては 3 次のスプライン関数を使用し、次式に示す状態方程式により圧力を評価する疑似非圧縮性流体解析を実施した。

$$p = B \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma - 1 \right] \quad (3)$$

ここで ρ_0 は参照密度として使用される初期密度であり、 $\rho_0 = 1000 \text{ kg/m}^3$ とした。また、Monaghan に従い

$\gamma = 7$, $B = 0.866$ とした。なお、以下に示す数値解析はオープンソース SPH ソフト「Sphysics」[3]を用い手実施した。

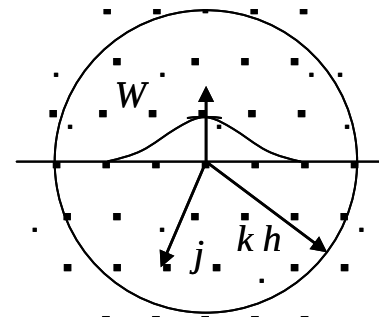


図-1 粒子配置と影響半径

3. 沿岸地域のモデリングと解析の手順

(1) 解析の流れ

解析の流れを図-2 に示す。また次節に、構築した解析手順におけるプリプロセスについて簡単に説明する。

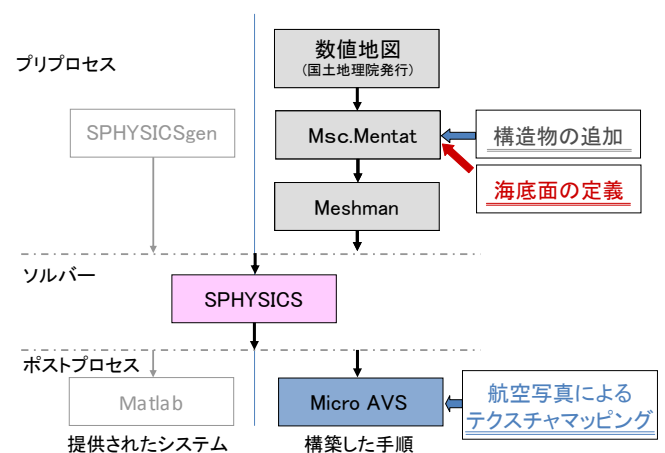


図-2 解析までの手順

(2) プリプロセス

沿岸地域の解析モデル作成のため、数値地図データより SPHysics 解析用の入力データを作成するための手順を以下に示す。

1. 国土地理院発行の数値地図・標高座標データを、有限要素法用プリプロセッサ「MSC.Mentat」で3角形メッシュデータとして読み込む。
2. MSC.Mentat にて、構造物を作成、追加し、3角形表面形状を STL データとして出力する。(海底面の定義、導入が課題)
3. 汎用粒子型データ生成ソフト「Meshman」[4]を用い、STL データから解析領域内に規則的に粒子を発生させることで、粒子座標データを作成する。
4. 粒子座標データを「SPHysics」[3]用の入力データに変換する。その際、本研究で開発したデータコンバータを用いた。

4. 解析例および考察（福岡市百道浜地域）

福岡市早良区百道浜地区周辺の解析例を示す。水柱崩壊により、擬似的に津波を発生させるものとした。なお、図-3 に示すように数値地図を読み込んだ地形データに構造物の 3D-CAD データを追加し、解析を行った。現段階では手作業により 3D-CAD データを作成しているが、将来的には Google earth 等と連携し、作業の効率化を図りたい。流体解析により、構造物が受ける圧力も評価することが可能であり、精度については別途検証中である。

解析モデルは境界部も含み全体で 1,799,932 粒子で構成されており、60 ステップの解析に約 120 時間を費やした。ポストプロセスには、KGT 製の MicroAVS[5]を使用し、固体粒子(地形)に航空写真を張ること(テクスチャマッピング)で臨場感を増している。(図-4 参照)

5. 結言

津波・高潮・暴波浪などに対する水害対策を念頭においた新規の流体-構造連成シミュレータの開発に向け、SPH 法による沿岸地域の解析ツールの開発を行った。現在、海底面の地形をモデル化し、さらに数値造波装置により連続で波を発生させる機能の導入を行っている。流体の衝撃力を受ける構造物の非線形解析を高精度かつ効率的に解析可能にすることによって、流体による構造物の破壊などを表現可能にするシミュレータ構築に努めたい。

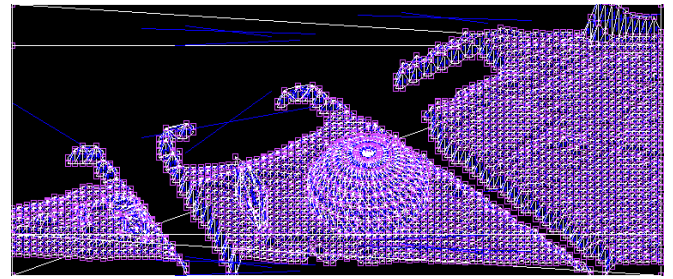


図-3 地形データと追加した 3D-CAD データ

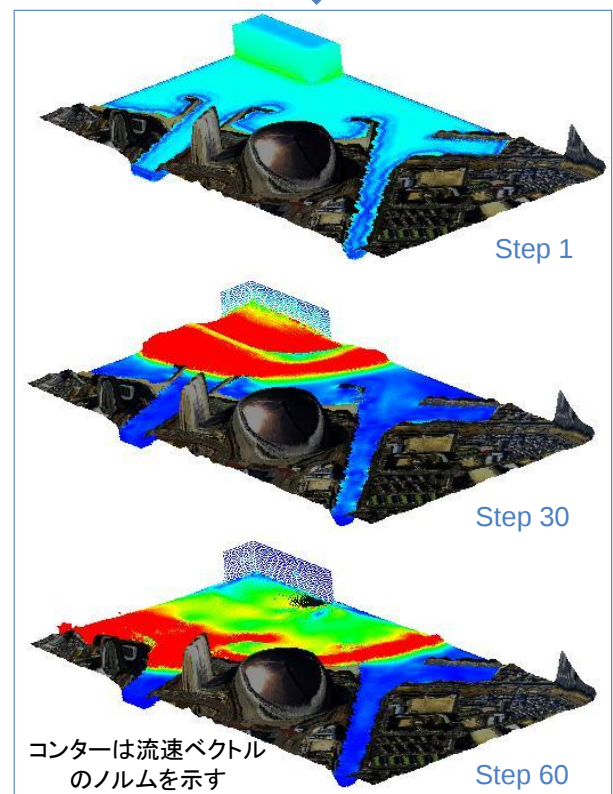
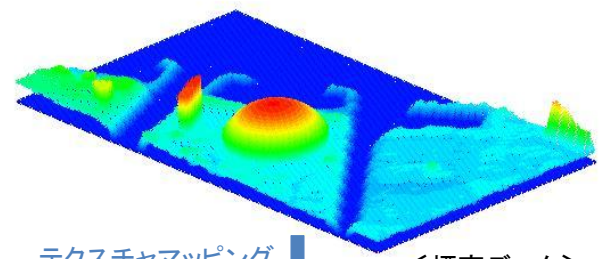


図-4 解析例（福岡市百道浜周辺）

参考文献

- 1) Monaghan, J.J.: Simulating free surface flow with SPH, Journal of Computational Physics, Vol. 110, pp 399-406, 1994 Series A 326, pp.565-584, 1972
- 2) 酒井譲, ほか 2 名 : SPH 法による非圧縮性粘性流体解析手法の研究, 日本機械学会論文集 B 編, 70 巻 666 号, pp.47-54, 2004
- 3) <http://wiki.manchester.ac.jp/sphysics/>
- 4) <http://meshman.jp/meshman/particleGenHPC.html>
- 5) <http://www.kgt.co.jp/feature/microavs/>